

Динамика сферического тела в вертикальном цилиндре с жидкостью при модулированном вращении

Соломенников Максим Николаевич

Власова Ольга Андреевна, Карпунин Иван Эдуардович

Пермский государственный гуманитарно-педагогический университет

Власова Ольга Андреевна, к.ф.-м.н.

solomennikov@pspu.ru

Одним из наиболее распространённых в природе и интересных видов движения является вращение. Гидродинамика вращающихся систем обладает рядом специфических особенностей, что объясняется действием силы Кориолиса и центробежной силы. Вращающиеся гидродинамические системы, неоднородные по плотности, характеризуются широким спектром колебательных режимов. Особый интерес, в связи с возможными техническими приложениями, представляет динамика тяжелых тел. Так в работе [1] впервые описана теория и экспериментально обнаружено, что на тяжелое тело в заполненной жидкостью полости (коаксиальный слой), совершающей вращательные колебания, действует осредненная подъемная сила во всем объеме полости. Эффект возникновения отрыва тяжелого тела, как показано в работе [2], возникает и в полости, совершающей модулированное вращение.

В настоящей работе экспериментально изучается поведение тяжелого сферического тела в вертикально расположенной цилиндрической полости (рис.1), заполненной вязкой жидкостью, в случае её быстрого вращения. Полость вращается с угловой скоростью $\Omega = \Omega_{rot}(1 + \varepsilon \cos \Omega_{lib}t)$, где $\Omega_{lib} = 2\pi f_{lib}$ – частота модуляции скорости, $\Omega_{rot} = 2\pi f_{rot}$ – средняя скорость вращения полости, $\varepsilon = \varphi_0 \Omega_{lib} / \Omega_{rot}$ – амплитуда модуляции скорости вращения полости. Динамика тела изучается при Ω_{rot} достаточной для удержания тела в центрифугированном состоянии. При модуляции скорости вращения граница полости на фоне равномерного вращения совершает азимутальные колебания с заданной амплитудой φ_0 и частотой Ω_{lib} , а тело за счет вязкого взаимодействия откликается на возмущение, совершая азимутальные колебания с амплитудой φ_b . В результате на части периода генерируется подъемная сила, отталкивающая тело от границы.

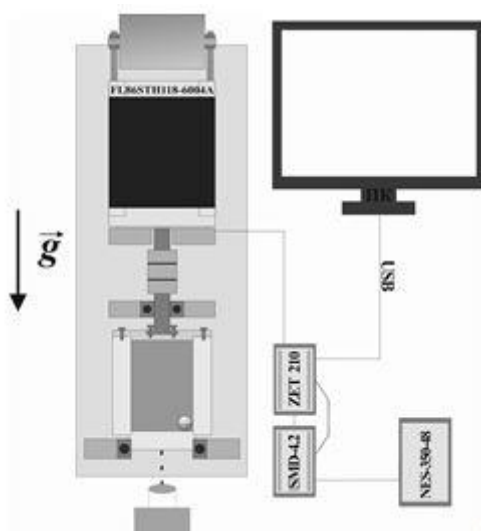


рис.1. Схема экспериментальной установки

Ранее проведенные исследования с цилиндрическим тяжелым телом в неравномерно вращающейся полости показали, что в ходе осциллирующего движения тела возникает осредненная подъемная сила в направлении от внутренней стенки полости [3]. Тяжелый цилиндр отрывается от стенки и переходит в «подвешенное» состояние на некоторое расстояние d , которое не изменяется со временем и его величина зависит от амплитуды и частоты модуляции скорости вращения полости. В случае сферического тела наблюдается подобный характер азимутальных колебаний. Тяжелое тело, вследствие осцилляций стенки полости (рис.2а), совершает колебания вдоль стенки полости с амплитудой φ_b (рис.2б). Частота и фаза азимутальных колебаний полости и тела совпадают. Стоит отметить, что на рис.2б присутствует наклон графика, это говорит о том, что при больших значениях ε возникает отстающий дрейф тела. В отличие от случая с цилиндром неоднородное по скорости вращения полости генерирует периодически возникающую подъемную силу. В результате при увеличении скорости вращения полости (максимумы на рис.2а) тело прижимает к внутренней стенке кюветы (рис.2в), а уменьшение скорости вращения (минимумы на рис.2а)

приводит к отрыву тела и наблюдается увеличение величины зазора d . Частота периодически меняющегося значения зазора совпадает с частотой заданных возмущений, при этом фаза колебаний не совпадает. Тело с некоторым отставанием реагирует на изменение скорости вращения полости, поскольку находясь в «подвешенном» состоянии взаимодействует со стенкой через слой жидкости, а не напрямую.

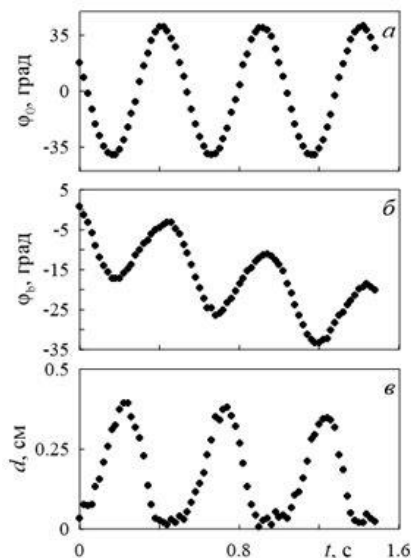


рис.2. Изменение со временем амплитуды азимутальных колебаний полости (а), амплитуды азимутальных колебаний тела (б) и зазора между телом и стенкой полости (в) при $\Omega_{rot} = \Omega_{lib} = 12.6$ рад/с и $\varepsilon = 0.7$

Список публикаций:

- [1] Kozlov V.G. Solid-body dynamics in cavity with liquid under high-frequency rotational vibration // *EPL (Europhysics Letters)*. 1996. Vol. 36. No. 9. P. 651.
- [2] Kozlov N.V., Vlasova O.A. Behavior of a heavy cylinder in a horizontal cylindrical liquid-filled cavity at modulated rotation // *Fluid Dynamics Research*. 2016. Vol. 48. No. 5. P. 055503
- [3] Vlasova O.A., Kozlov V.G., Kozlov N.V. Lift Force Acting on a Heavy Solid in a Rotating Liquid-Filled Cavity with a Time-Varying Rotation Rate // *Journal of Applied Mechanics and Technical Physics*. 2018. T. 59. №. 2. C. 219-228.

Численное исследование динамики двух близкорасположенных деформируемых капель в сдвиговом потоке

Фаткуллина Назгуль Байтулловна

Абрамова Ольга Александровна, Булатова Айгузель Загировна

Центр Микро- и наномасштабной динамики дисперсных систем

Башкирский государственный университет

Абрамова Ольга Александровна, к.ф.-м.н.

nazgulbay1999@gmail.com

В природе широко распространены различные типы дисперсных систем, такие как эмульсии, суспензии и пузырьковые жидкости. Эмульсии, например, активно применяются во многих отраслях промышленности, науки и техники, включая нефтегазовую отрасль, биофизику, пищевую промышленность. Особенно актуальным является изучение реологических характеристик таких систем «жидкость-жидкость». Результаты исследований, проводившихся в течение длительного времени, показали, что микроструктура эмульсий значительным образом влияет на реологию всей системы в целом.

В настоящей работе исследуется динамика двух близкорасположенных деформируемых капель в объеме вязкой несжимаемой жидкости под действием сдвигового потока. Процессы изотермические и рассматриваются при малых числах Рейнольдса и умеренных числах Струхала. Таким образом, течение жидкостей описывается уравнениями Стокса при следующих граничных условиях: на границе раздела фаз скорости жидкостей совпадают и задан вектор разности нормальных напряжений. Для решения поставленной задачи применялся трехмерный метод граничных элементов (МГЭ) [3], который позволяет значительно уменьшить вычислительную сложность задачи. В данном случае исходные дифференциальные уравнения, описывающие поведение функции внутри и на границе области преобразовываются в интегральные уравнения,